

TCP 隐式丢包检测技术分析*

王敏杰^{1,2}, 徐昌彪², 刘光明²

(1. 河南农业大学 理学院, 河南 郑州 450002; 2. 重庆邮电学院 光互联网及无线信息网络研究中心, 重庆 400065)

摘要: Inter-arrival, Spike-train 和 Zigzag 是在 TCP 接收端区分拥塞丢包和无线丢包的三种典型的隐式丢包检测技术。目前, 对上述三种算法的性能分析是在不同的拓扑下进行仿真或测量, 因此难有可比性。比较分析三种技术在同一拓扑下区分拥塞丢包和无线丢包的有效性, 为隐式丢包检测技术的进一步研究与应用提供参考。仿真结果表明, 三种技术效果均不太理想, 总体来看, Spike-train 要优于其他两种技术。

关键词: 拥塞丢包; 无线丢包; 单程时间; 包到达间隔

中图分类号: TN393 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)01-0184-03

Analysis of Discriminating Congestion Losses from Wireless Losses

WANG Min-jie^{1,2}, XU Chang-biao², LIU Guang-ming²

(1. School of Science, Henan University of Agriculture, Zhengzhou Henan 450002, China; 2. Special Research Centre for Optical Internet & Wireless Information Networks, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Inter-arrival, Spike-train and Zigzag are three typical schemes for differentiation of congestion losses and wireless losses on TCP receiver. The performance results above three schemes were obtained under different topology, so it is difficult to compare them. The aim is to compare and analyze above the schemes performance under the same topology. The results show that no single algorithm performs well across topologies and competition. However the Spike-train algorithm is better to the others, and all the algorithms have a shortcoming in common

Key words: Congestion Losses; Wireless Losses; Relative One-way Trip Time(ROTT); Inter-arrival Time

1 引言

TCP 是目前 Internet 中广泛采用的传输控制协议, 为各主机之间提供可靠按序的传输服务^[1]。TCP 拥塞控制是其成功应用于 Internet 的重要因素。TCP 拥塞控制的前提是网络拥塞为数据丢失的唯一原因^[2], 即只要终端检测出有数据丢失, 均认为是网络拥塞所致, 于是调用拥塞控制机制, 这对于链路质量较好的有线环境是适宜的, TCP 具有较好的鲁棒性。

随着无线应用的飞跃发展, 越来越多的人把目光投向了无线网络的通信。然而无线环境与有线环境相比, 通常具有误码率高、时延大、带宽低、信道不对称以及频繁的移动等特性。这样, 传统的基于有线环境的 TCP 技术已无法适应链路质量相对较差的无线环境。因为网络拥塞已不能再被看作是数据丢失的唯一原因, 有大量的数据会因切换、信道衰落、干扰等而被丢弃, 把这些由于无线环境造成的丢包称为无线丢包。如果直接沿用现有的 TCP 技术会恶化 TCP 性能。这主要是因为当出现无线丢包时, TCP 仍会启动拥塞控制, 从而造成不必要的数据发送速率的降低, 导致带宽利用率不高、系统时延加大、吞

吐量下降。这样, 如何区分拥塞丢包和无线丢包自然成为改善无线环境下 TCP 性能的关键。为此, 人们在这方面做了大量的探索和研究, 提出了多种技术, 主要分为显式丢包检测与隐式丢包检测两类。显式丢包检测是使发送方的传输层意识到无线链路层的状态, 能够清晰地地区分出拥塞丢包和无线丢包, 例如显式丢包通知 (ELN)^[3]、显式拥塞通知 (ECN)^[4]、SACK^[5] 等。隐式丢包检测是接收端或发送端通过某些参量的变化隐式地推断丢包的类型, 如 TCP-vegas^[6], TCP Westwood^[7-9]。隐式丢包检测技术因其实现简单、系统开销小而成为人们关注的焦点。

2 三种具有代表性的隐式丢包检测技术原理

2.1 Inter-arrival

Inter-arrival 的基本思想是利用接收方收到包到达时间间隔来区分拥塞丢包和无线丢包^[10]。此技术基于以下假设:

- (1) 仅仅最后一跳为无线链路;
- (2) 无线链路为瓶颈;
- (3) 发送端执行的是大块数据的传输。

由于无线链路为瓶颈, 基站比接收方缓存了更多的包。当发送方发出 1 号、2 号、3 号包到接收方时, 可能会发生三种情形, 如图 1 所示。

图 1(a) 表示传输过程中没有丢失的包, 所以连续包到达接收方的时间间隔近似等于包在无线链路上传输的时间 T ; 图 1(b) 表示 2 号包在无线链路传输时丢掉了, 这种情况下 1 号和 3 号包到达接收方的时间间隔为 $2T$; 图 1(c) 表示 2 号包在

收稿日期: 2004-11-29; 修返日期: 2005-02-26

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2003AA121540); 国家自然科学基金资助项目(90304004); 国家教育部科学技术研究项目(204125); 国家人事部 2003 年度留学回国人员科技活动择优资助项目; 重庆市科委应用基础项目(8060, 8061); 重庆市教委科学技术研究项目(050309, 040507)

由图 3 与图 4 可知, Inter-arrival 区分无线丢包的偏差率较大, 对单个流的无线丢包偏差率 R_w 略低于对多个流的偏差率, 但随竞争流个数的增加或带宽的增加, 算法曲线平稳。通过图 5 与图 6 可知, Inter-arrival 区分拥塞丢包的偏差率在三种算法中偏差率较小, 由仿真结果可知 Inter-arrival 对单个流的拥塞丢包区分效果好于对多个流的区分效果, 也就是说该方案更适合在没有竞争流的拓扑情况。

由图 3 ~图 6 可知, Zigzag 无论对拥塞丢包还是对无线丢包偏差率都较大, 说明 Zigzag 对带宽和流的个数的变化反应敏感, 尤其是在发送端的带宽小于无线瓶颈链路带宽时, 曲线波动幅度较大。其主要原因是计算 $ROTT_{mean}$ 和 $ROTT_{dev}$ 的平滑系数 β 太小, $ROTT_{mean}$ 跟不上 $ROTT_i$ 的变化, 平滑系数的大小直接影响该方案的有效性。取值过小, 该方案会将拥塞丢包计算成无线误码丢包; 取值过大, 又会出现相反的结果。不论在何种拓扑下, β 的选取对该算法的性能影响都非常大^[13-15], 而且 Zigzag 方案没有在实际的网络环境下进行测试, 因此平滑系数 β 的取值有待进一步研究; 同时仿真结果也说明网络负荷不同时 Zigzag 方案运行性能不稳定。

对无线丢包区分的准确率是衡量算法性能优劣的关键技术指标, 因为传统 TCP 本身就是将所有丢包误认为是拥塞丢包^[2], 只有在所有的丢包中正确区分出无线丢包, 才能对 TCP 性能真正改善。通过图 3、图 4 可知, Spike-train 方案对无线丢包区分的偏差率低于 Inter-arrival, 区分性能的稳定性好于 Zigzag, 因此我们认为 Spike-train 算法在三种算法中性能最好。当只有一个流时, 随着发送方支路带宽的增加, 或者发送端流的个数增加, Spike-train 对无线丢包区分偏差率减小。这是由于随着发送方流量逐渐增加, 在基站排队等待处理的包增多, 对于 Spike-train 方案, 基站排队包的增多将导致 $ROTT$ 逐渐增加, Spike-train 就会出现。当带宽增加到 2Mbps 或流的个数增加到四个时, 网络拥塞程度轻微, 部分的拥塞丢包被误区分为无线丢包, 所以曲线会在 2Mbps 时区分偏差率略有上升; 当网络出现稳定的拥塞状态, Spike-train 区分丢包准确率升高, 偏差率下降。仿真结果也表明 Spike-train 更适合存在竞争的拓扑环境。

通过表 1 的仿真数据显示, 上述三种方案存在的共同问题是接收端无法知道两次及其以上次数的丢包, 方案统计到的丢包与实际丢包肯定有误差, 且统计到的丢包总数小于实际丢包总数。这是由于接收端对网络的状态一无所知, 所以只有在它接收到失序报文段时才能意识到丢包发生了, 至于收到的报文段是第几次重传到达的, 接收端无从知道。所以对于丢包, TCP 接收端只能感受到一次, 因此两次及其以上次数的丢包就无法统计, 这也是造成隐式丢包检测技术误差的一个原因。

表 1 TCP 源的个数 N 不同时, 实际丢包个数和运行方案统计到的丢包个数

TCP 源的个数 N	1	2	3	4	5	6
实际丢包个数	272	455	510	588	620	704
运行方案统计到的丢包个数	149	273	332	362	371	388

不论采用哪一种算法, 接收端都是利用接收报文段失序统计丢包, 只是用不同的算法将一个报文段的丢失或者统计成无线丢包, 或者统计成拥塞丢包。根据本文给出的性能指标偏差率, 当 R_w 或 R_c 大于 0, 算法出现漏检现象(如 Biaz 算法); 当

R_w 或 R_c 小于 0 算法出现虚检(如 Zigzag 算法)。如果用隐式丢包检测技术去控制 TCP 的拥塞控制机制, 漏检会使 TCP 应用在无线网络上的性能改善不明显; 虚检会恶化 TCP 的性能。理论上 R_w 或 R_c 接近 0 时, 算法性能最好, 但由于隐式丢包检测算法是基于某些假设和测量的, 而且测量本身也是基于这些假设的, 因此准确性不高。

4 结论

隐式丢包检测技术的突出优点是无须对基站及其他网络中间节点进行修改。通过仿真发现讨论的三种隐式丢包检测技术仅仅适用特定的网络环境, 当拓扑变化时, 如瓶颈链路带宽变化范围较大, 流个数变化范围也较大时, TCP 接收方的判决方案并不理想。但总体来看, Spike-train 优于 Inter-arrival 和 Zigzag。

参考文献:

- [1] R Stevens. TCP/IP Illustrated, Volume 1: the Protocols[M]. Addison-Wesley, 1994.
- [2] R Jain. A Timeout-based Congestion Control Scheme for Window Flow-controlled Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1986, SAC-4(7): 1162-1167.
- [3] H Balakrishnan, R H Katz. Explicit Loss Notification and Wireless Web Performance[C]. Sydney: IEEE GLOBECOM '98 Internet Mini-Conference, 1998.
- [4] S Floyd. TCP and Explicit Congestion Notification[J]. ACM Computer Communication Review, 1994, 24(5).
- [5] S Floyd, J Mahdavi, M Mathis, et al. An Extension to the Selective Acknowledgement (SACK) Option for TCP[S]. RFC 2883, 2000.
- [6] L Brakmo, S O'Malley. TCP-vegas: New Techniques for Congestion Detection and Avoidance[C]. London: ACM SIGCOMM '94, 1994. 24-25.
- [7] Ren Wang, Massimo Valla, M Y Sanadidi, et al. Adaptive Bandwidth Share Estimation in TCP Westwood[R]. UCLA Technical Report, 2002.
- [8] Ren Wang, Massimo Valla, M Y Sanadidi, et al. Using Adaptive Bandwidth Estimation to Provide Enhanced and Robust Transport over Heterogeneous Networks[C]. Paris: the 10th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP 2002), 2002.
- [9] Ren Wang, Massimo Valla, M Y Sanadidi, et al. Efficiency/Friendliness Tradeoffs in TCP Westwood[C]. Taormina: IEEE Symposium on Computers and Communications, 2002.
- [10] S Biaz, N H Vaidya. Discriminating Congestion Losses from Wireless Losses Using Inter-arrival Times at the Receiver[C]. IEEE Symp, ASSET 99, 1999.
- [11] Yoshito Tobe, Yosuke Tamura, Anastasio Molano, et al. Cheiving Moderate Fairness for UDP Flows by Path-Status Classification[C]. Proc. of the 25th Annual IEEE Conf. on Local Computer Networks, 2000. 252-61.
- [12] Y Tobe, H Aida, Y Tamura, et al. Detection of Change in One-way Delay for Analyzing the Path Status[C]. Proc. of the 1st Passive and Active Measurement Conf. on Multimedia Computing and Networking (MMCN), 2002. 1-15.
- [13] S Cen, P Cosman, G Voelker. End-to-End Differentiation of Congestion and Wireless Losses[C]. Multimedia Computing and Networking (MMCN) Conf., 2002. 1-15.
- [14] V Paxson, M Allman. Computing TCP's Retransmission Timer[S]. RFC 298, 2000.
- [15] J Postel. Transmission Control Protocol[S]. RFC 793, 1981.

作者简介:

王敏杰(1972-), 女, 硕士, 研究方向为宽带网络技术; 徐昌彪(1972-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为无线通信技术; 刘光明(1941-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为宽带网络技术。